

□ 論 文 □

# 수요예측결과의 평가기준 및 평가방법에 관한 연구

## A Study on the Evaluation Criterion and Method for the Assignment Results

鄭 天 秀

(國土開發研究院 研究委員)

### 目 次

I. 서론	3. 종합평가
1. 연구의 배경과 목적	III. 평가기준 및 평가방법의 적용
2. 연구전제	1. 거시분석방법
II. 평가기준 및 방법의 정립	2. 미시분석방법
1. 거시분석방법	3. 종합평가
2. 미시분석방법	IV. 결론 및 제언

### ABSTRACT

The traffic forecast is one of the most important analysis objects in the urban transportation planning process. The results of traffic forecast are the most widely used informations and give a critical influence on the major decision makings in the transportation planning process. Thus, they should be as much accurate and credible data, and evaluated to determine whether they are enough reliable to directly use in the planning process.

However, the evaluation process is usually overlooked or abbreviated with a few exceptions according to the size and character of the project. Even though a planner or engineer tries to evaluate the assignment results, he/she is usually faced with certain difficulties since there are no established criteria and methods for the accuracy evaluation.

Accordingly, the main purpose of this reseach placed on establishing the criteria and methods for the accuracy evaluation of the assignment results. The secondary purpose was to evaluate which assignment technique produces the most accurate assignment results by applying the

established evaluation criteria and methods to an actual network.

The research found that the proposed evaluation methods well operated in testing the accuracy of assignment results with few limits on application. Also, the incremental assignment was found to provide the best assignment results of the existing assignment techniques (Stochastic, Iterative, Incremental, Equilibrium assignment) for the Seoul city network applied.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경과 목적

교통수요예측은 도시교통계획수립을 위한 핵심 분석과정중의 하나라 할 수 있다. 수요예측결과는 교통망 대안의 평가, 교통체계의 영향분석, 설계교통량 및 차선수의 결정, 그리고 시설계획시행의 우선순위결정 등 교통계획의 주요결정사항에 가장 큰 영향을 미치는 요소라 할 수 있다. 따라서 수요예측결과는 보다 정확하고 신뢰할 수 있는 자료가 되어야 하며, 주요 의사결정전에는 반드시 예측결과의 신뢰성에 대한 검증절차가 행해져야 하는 것이 중요하다.

그러나 수요예측결과의 검증절차는 사업규모와 성격에 따라 다르지만 대개 간과되거나 간략히 행해지는 경우가 많다. 현재 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 산출된 수요예측결과는 과연 얼마나 정확한지, 그 결과를 직접 주요의사결정에 적용할 수 있을만큼 신뢰성을 가지는지, 그리고 실측교통량과 비교하여 어느정도 오차가 발생하였을때까지 수용가능한지 등을 판단하기 어려운 경우가 많다. 수요예측결과를 평가하는 일반적인 방법은 추정교통량과 실제 측정된 교통량을 비교하여 얼마나 차이가 있는지를 산정함으로써 그 정확성을 평가한다. 그러나 이러한 기본적인 평가방법도 체계화 되어 있지 않아 예측결과의 평가시마다 주저하거나 혼돈을 초래하고 있는 것이 현재의 실정이다.

이러한 관점에서 추정교통량이 실측교통량과

어떻게 비교·평가되어야 하는지, 실측교통량이 준비되지 않은 상태에서 평가할 수 있는 방법은 없는지, 평가를 위한 기준은 어떻게 설정하여야 하는지 등 수요예측결과를 검증할 수 있는 평가 기준이나 평가방법을 이론적으로 체계화시키기 위한 접근시도는 매우 중요한 연구의미를 가진다 할 수 있다.

따라서 본 연구는 수요예측결과를 평가할 수 있는 기준과 평가방법을 설정하는데 주목적을 두었으며, 설정된 평가기준 및 방법을 이용하여 수요예측을 위한 여러가지 노선배정기법을 실제 도로망에 적용한 경우 어느기법이 가장 정확한 수요예측결과를 산출하고 있는지를 비교·평가하는데 부수적인 목적을 두었다.

### 2. 연구전제

본 연구를 위해 설정된 기본전제 및 가정은 다음과 같다.

- 1) 서울시 도로망이 본 연구분석을 위해 사용되었다. 작성된 서울시 도로망은 138개의 내부존과 44개의 외부존, 1825개의 노드와 2718개의 링크로 구성되어 있다. 서울시 도로망중 대부분의 실측 교통량이 이용가능한 강남지역을 중점분석대상지역으로 하였다.
- 2) 실측교통량자료는 서울시 교통국의 교통량조사자료, 교통시설 관련용역자료 등을 수집·정리하였으며, 실측교통량이 필요하나 여의치 않은 구간이나 링크에 대해서는 보간법을 이용하여 실측교통량자료를 보충하였다.

- 3) 수요예측을 위한 O/D자료는 1992년에 작성된 자료를 사용하였으며, 도로망도는 서울시내 6차선이상 모든 도로와 4차선도로중 보조간선기능을 가진 도로를 포함하여 작성되었으며 용량 및 주행속도는 HCM과 서울시 교통관리사업소 작성자료를 참고 하였다.
- 4) 평가대상이 되는 노선배정기법은 Stochastic (STO), Iterative(ITE), Incremental(INC), Equilibrium(EQU) 기법을 포함하였으며, 각 노선배정에 적용된 반복(Iteration)회수는 5회로 한정하였다. 수요예측을 위한 패키지는 TRANPLAN/NEDS를 사용하였다.
- 5) 상기노선배정기법에 적용된 매개변수들(parameters)은 자동입력값(Default Value)를 사용하였다. 따라서 STO기법에는 0.2의  $\theta$  값이 적용되었으며, INC기법에 사용된 O/D 배분값은 매 반복회수마다 20%씩 할당.적용하였다.
- 6) 수요예측결과의 평가는 24시간 추정교통량을 사용하였으며, 실측교통량과의 비교자료는 주로 링크교통량에 한정하였으며 부분적으로 회전교통량도 비교대상이 되었다.
- 7) 평가과정중 통계검증을 위해 다음과 같은 가정을 설정하였다. 첫째, 추정교통량 및 실측교통량은 각기 정규분포를 이루며 이들로 부터 추출되는 포본은 상호 독립적이다. 둘째, 두 모집단의 분산은 동분산성(Homosecdastic)을 띠거나 같은 분포형태를 가진다.

### III. 평가기준 및 방법의 정립

수요예측결과를 평가할 수 있는 여러가지 방법들을 수집하여, 이들을 두가지 범주로 분류하였다. 하나는 거시분석방법이며 다른 하나는 미시분석방법이다. 거시분석방법은 분석대상도로망의 특정지역이나 전체를 대상으로 링크교통량의 합

계나 평균값에 대해 분석하는 방법들을 포함하며, 미시분석방법은 각 링크 교통량에 대해 링크단위로 비교·분석하는 방법들을 포함한다.

거시분석방법은 Vehicle Kilometers of Travel(VKT)측정, Screenline(SL)측정, Cutline(CL)측정, Travel Route(TR)측정, 그리고 회전교통측정을 포함하며, 미시분석방법은 오차분포측정, 오차한계측정, 통계측정, 그리고 통계검증을 포함한다. <도표 1>은 이들 방법을 정리하여 나타낸 것이다.

#### 1. 거시 분석방법

거시분석방법은 앞서 나타낸 바와 같이 VKT 측정, SL측정, CL측정, TR측정, 회전 교통측정을 포함하며 이들의 적용기준 및 적용방법을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- 1) VKT측정은 링크의 길이에 해당링크에 추정된 교통량이나 실측교통량을 곱하여 계산된다. 추정교통량의 VKT와 실측교통량의 VKT사이 에 부합되는 정도는 추정 VKT를 실측 VKT로 나누어 백분율로 표시한다. 추정 VKT는 도로망의 크기, 형태 및 특성에 따라 다소 차이는 있으나 실측 VKT와의 차이가  $\pm 5\%$  이내의 오차를 나타내는 경우에 신뢰할 수 있는 수요예측결과라 간주하였다.
- 2) SL측정은 분석대상 전지역을 두부분으로 나누는 가상선을 작성한 후, 그 가상선상을 교차하는 모든 링크들에 추정된 교통량의 합과 해당 링크들의 실측교통량의 합을 비교하여 수요예측결과를 평가하는 방법이다. 이 측정도 추정교통량과 실측교통량의 차이를 백분율로 나타내어 정확도를 표시한다. 이 측정은 추정교통량이 실측교통량과  $\pm 10\%$  이내의 오차를 보이는 경우에 신뢰할 수 있는 수요예측 결과라 간주하였다.

<도표 1> 수요예측결과의 평가방법

구 분	평 가 방 법	분 석 대 상		
		도 로 망	링 크	회 전
거 시 분 석	Vehicle Kilometers of Travel	×		
	Screenline	×		
	Cutline	×		
	Travel Route	×		
미 시 분 석	회전교통량			×
	오차분포분석		×	
	오차한계측정		×	
	평균차이(MD)		×	
	평균제곱근 오차(RMS)		×	
	백분 평균제곱근 오차(PRMS)		×	
	표준편차(SD)		×	
	백분표준편차(PSD)		×	
	Krskal-Wallis(KW) 검증		×	
	Wilcoxon-Signed-Rank(WSR) 검증		×	
	Paired t-검증		×	
	F-검증		×	

\* 모든 통계검증은 10%의 유의 수준에서 행하여짐

- 3) CL측정은 SL측정과 유사하나 분석대상지역이 SL측정과 같이 도로망전체가 아니라 특정 지역에서 선정된 대개 4-8개의 링크들을 대상으로 분석하는 방법이다. 따라서 이 측정은 비교적 작은 범위의 한정된 지역에 대한 비교 평가이므로 SL측정보다 더욱 정교하고 효과적으로 수요예측 결과를 평가할 수 있게 한다. CL측정도 추정 교통량과 실측교통량의 차이를 백분율로 나타내어 정확도를 표시한다. 이 측정은 추정교통량이 실측교통량과 ±20% 이내의 오차를 나타내는 경우에 신뢰할 수 있는 수요예측결과라 간주하였다.
- 4) TR측정은 특정노선상의 모든 링크들에 추정된 교통량과 실측교통량을 비교하여 예측결과를 평가하는 방법이다. 이 측정은 SL측정과

같이 추정교통량이 실측교통량과 ±10% 이내의 오차를 나타내는 경우 신뢰할 수 있는 수요예측 결과라 간주하였다.

- 5) 회전교통측정은 추정교통량이 '0'로 나타나는 좌·우회전이동의 수를 헤아려 수요예측결과를 평가하는 방법이다. 실제 도로망의 경우 회전이 허용되는 교차로에서는 회전이 빈번히 이루어지고 있으나, 컴퓨터 시뮬레이션결과와는 좌회전금지 읍손을 주지 않더라도 회전교통량이 '0'로 나타나는 교차로를 흔히 볼 수 있다. 따라서 좌·우회전이 허용되는 교차로에서 회전 교통량이 '0'로 나타나는 이동수가 적을수록 수요예측결과가 더 신뢰될 수 있으며, 이를 비교하여 수요예측결과를 평가하는 방법을 회전교통측정이라 하였다.

## 2. 미시분석 방법

미시분석은 거시분석과는 달리 추정교통량과 실측교통량의 차이를 해당 링크단위로 비교하여 평가하는 방법이다. 이 방법은 오차분포측정, 오차한계측정, 통계측정, 그리고 통계검증을 포함하며 이들의 적용기준 및 적용방법은 다음과 같다.

### 1) 오차분포측정

오차분포측정은 각 링크의 추정 교통량과 실측 교통량의 차이를 크기에 따라 절대 오차범위와 백분오차범위로 구분하고 각 오차범위에 해당하는 링크의 수를 백분율로 나타낸 후, 오차범위에 따른 링크수의 분포형태를 분석하여 수요예측결과를 평가하는 방법이다. 이 측정방법은 오차수준, 오차분산형태, 최대오차범위등을 비교적 쉽게 파악할 수 있게 한다. 수요예측 결과의 평가는 오차가 적은 범위를 나타내는 중심부 부근에서 그래프의 최고점이 높을수록, 그래프형태가 작게 분산되어 있을수록, 그리고 최대오차범위를 나타내는 가장자리에서 그래프의 최고점이 낮을수록 더욱 정확한 수요예측결과를 나타낸다 할 수 있다.

### 2) 오차한계측정

일반적으로 현장에서 실측된 교통량은 여러가지 요인에 의해 오차가 발생하게 된다. 수요예측 결과의 보다 정확한 평가를 위해서는 실측교통량에서 발생할 수 있는 오차를 감안하여 추정교통량의 정확성을 평가하여야 할 것이다. 이를 위해 추정교통량이 실측교통량과 어느 수준까지 부합되는 경우 이들 사이에는 차이가 없다 할 수 있는지 그 기준을 설정하는 것이 필요하다.

실측교통량오차에 따른 평가기준을 설정하기 위해 다음과 같은 기본가정을 설정하였다. 첫째, 추정교통량과 실측교통량, 그리고 이들의 차이는 정규분포를 이룬다. 둘째, 실측교통량의 일평균 교통량(ADT)은 80%의 신뢰도에서  $\pm 10\%$ 의 오차를 나타낸다. 이러한 가정하에서 실측교통량

오차에 따른 평가기준을 다음과 같이 정리하였다.

일교통량의 신뢰한계(CL) :

$$\text{상위 신뢰한계} = (C_i) + Z \times S(C_i) \times C_i$$

$$\text{하위 신뢰한계} = (C_i) - Z \times S(C_i) \times C_i$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } Z &= \text{추정교통량에 대한 80\% 신뢰구} \\ &\text{간에서의 표준 정규값} \\ &= 1.28 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S(C_i) &= \text{실측교통량에 대한 표준편차} \\ &= \text{ADT의 백분오차} / Z \\ &= 0.10 / 1.28 = 7.8\% \end{aligned}$$

따라서 상위신뢰한계는 실측교통량의 오차로 인해 발생될 수 있는 일 평균교통량의 최대값을 나타내며 하위 신뢰한계는 발생될 수 있는 최소값을 나타낸다. 실측교통량오차에 의한 평가는 만일 추정교통량의 상위 신뢰한계가 실측교통량의 하위 신뢰한계보다 크거나 추정교통량의 하위 신뢰한계가 실측교통량의 상위신뢰한계보다 작을 경우 추정교통량과 실측교통량 사이에는 차이가 없다고 판단하였다. 따라서 이러한 범위에 속하는 링크의 수가 많을수록 더욱 우수한 수요예측 결과라 간주할수 있다.

### 3) 통계측정

다섯종류의 일반적인 통계측정방법, 즉 평균차이(MD)측정, 평균제곱근(RMS)측정, 표준편차(SD)측정, 백분평균제곱근(PRMS)측정, 백분표준편차(PSD)측정이 추정교통량의 정확도를 평가하기 위해 적용되었다. 이들 측정방법은 조금씩 다른 분석특성을 가지고 있다. 우선 MD는 분산의 중심에 대한 편향정도를 측정할 수 있게 하며, RMS와 PRMS는 추정교통량과 실측교통량 차이의 중앙값에 대한 분산정도를 나타내고, SD와 PSD는 추정교통량과 실측교통량 차이의 평균값에 대한 분산정도를 나타낸다 할 수 있다. 이들의 계산결과는 오차수준을 나타내므로 수치가 작을수록 보다 정확한 수요예측결과를 나타낸다 할 수 있다. 이들 측정에 적용된 수식은 다음과 같다.

$$MD = \sum(A_i - C_i)/N$$

$$RMS = \sum[(A_i - C_i)^2/N]^{1/2}$$

$$PRMS = 100 \times [RMS/(\sum C_i/N)]$$

$$SD = \{[\sum(A_i - C_i)^2/N] - \{[\sum(A_i - C_i)/N]^2\}}^{1/2}$$

$$PSD = 100 \times \{SD/(\sum C_i/N)\}$$

여기서,  $A_i$  = 링크  $i$ 의 추정 교통량  
 $C_i$  = 링크  $i$ 의 실측 교통량  
 $N$  = 전체 분석대상 링크의 수

• 검증 통계치 :

$$H = \{12/N(N+1)\} \sum n_i(T_i/n_i) - 3(N+1)$$

여기서,  $N$  = 전체링크의 수

$n_i$  = 기법  $i$ 의 적용링크수

$T_i$  = 기법  $i$ 의 등급 합계(Sum of Ranks)

• 결정 :  $\alpha = 0.1$ 과 자유도 =  $k-1$ 에서 계산된  $H$ 값이 임계 $H$ 값보다 큰 경우 영가설을 기각한다. 여기서  $K$ 는 링크그룹의 수를 나타낸다.

4) 통계검증

추정교통량과 실측교통량 사이의 차이가 통계적으로 유의한지를 검증하기 위해 4가지의 통계검증, 즉 Kruskal Wallis(KW)검증, Wilcoxon Signed-Rank(WSR)검증, Paired t-검증, 그리고 F-검증이 적용되었다. 여기서 KW검증은 다른 3종류와 다른 내용을 검증한다. KW검증은 여러 노선배정기법으로부터 산출된 추정교통량사이의 차이가 통계적으로 유의한지를 검증하기 위해 적용되었으며, 나머지 3종류는 추정 교통량과 실측 교통량사이의 차이를 검증하기 위해 적용되었다. 물론 이들 통계검증은 앞서 기술한 바와 같이 추정교통량과 실측교통량의 분포가 정규분포를 이루며 상호 독립적인 자료라는 가정하에서 적용되었다. 이들 통계검증은 통계유의 수준을 일반공학에서 적용되는 수치인 10%로 정하였으며 각 통계검증을 위한 영가설과 대안가설, 검증통계치, 그리고 검증결과의 평가방법등을 정리하면 다음과 같다.

가) KW 검증

• 영가설과 대안가설

영가설 : 각 노선배정기법에서 산출된 추정교통량은 같은 중앙값을 가지면서 유사하게 분포되어 있다.

대안가설 : 추정교통량은 같은 중앙값을 가지지 않으며 유사하게 분포되어 있지 않다.

나) WSR검증

• 영가설과 대안가설 :

영가설 : 추정교통량과 실측교통량은 같은 중앙값을 가지면서 유사하게 분포되어 있다.

대안가설 : 추정교통량과 실측교통량은 같은 중앙값을 가지지 않으며 유사하게 분포되어 있지 않다.

• 검증통계치 :

$$Z = (T - U_T)/S_T$$

여기서,  $T$  = 추정교통량에서 실측교통량을 감한 값에서 양부호등급의 합과 음부호등급의 합중에 절대값이 작은 값

$U_T$  = 등급의 평균값,

$S_T$  = 등급의 분산,  $[N(N+1)(2N+1)/24]^{1/2}$

$N$  = 링크의 수

• 결정 :  $\alpha=0.1$ 과 자유도= $N$ 에서 계산된  $Z$ 값이 임계 $Z$ 값보다 큰 경우 영가설을 기각한다.

다) Paired-t검증

• 영가설과 대안가설

영가설 : 추정교통량이 실측교통량과 같은 평균값을 가지면서 유사하게 분포되어 있다.

대안가설 : 추정교통량이 실측교통량과 같은 평균값을 가지지 않으며 유사하게 분포되어 있지 않다.

• 검증 통계치 :

$$T = D / (Sd / N)$$

여기서, D = 추정교통량과 실측교통량의 평균값 차이

Sd = 교통량차이에 대한 표준편차

N = 링크의 수

• 결정 :  $\alpha=0.1$ 과 자유도=N-1에서 계산된 T값이 임계 T값보다 큰 경우 영가설을 기각한다.

라) F-검증

• 영가설과 대안가설

영가설 : 추정교통량이 실측교통량과 같은 분산을 가지면서 유사하게 분포되어 있다.

대안가설 : 추정 교통량이 실측 교통량과 같은 분산을 가지고 있지 않으며 유사하게 분포되어 있지 않다.

• 검증 통계치 :

$$F = S_1^2 / S_2^2$$

여기서,  $S_1^2$  = 노선배정기법 1에서 추정된 교통량과 실측 교통량의 차이 값에 대한 분산

$S_2^2$  = 노선배정기법 2에서 추정된 교통량과 실측 교통량의 차이 값에 대한 분산

• 결정 :  $\alpha=0.1$ 과 자유도=N-1에서 계산된 F값이 상위 경계임계 F값보다 크거나, 계산된 F값이 하위경계 F값보다 작은 경우에 영가설을 기각한다.

3. 종합평가

상기에 기술한 여러가지 측정 및 검증결과를 종합하여, 추정교통량이 실측교통량과 유사한 값을 나타내고 있는지, 여러노선배정기법중 어느 기

법이 가장 우수한 수요예측결과를 산출하고 있는지 등을 평가하여야 할 것이다. 적용된 각 측정 및 검증결과가 일치될 경우에는 쉽게 결론을 유도할 수 있으나, 서로 상이한 결과를 나타내는 경우에는 이들을 합리적으로 집계하여 종합적으로 평가하는 과정이 필요하게 된다. 이를 위해 각 측정방법별로 각 기법의 수요예측결과와 정확성을 등위로 나타내고 이를 집계하여 최종평가를 내러야 할 것이다.

측정결과에 대한 상대적인 등위는 측정방법에 대한 중요도에 따라 가중치를 부여할 수도 있으며, 등위의 표현형태도 다양하게 나타낼 수 있을 것이다. 그러나 본 연구에서는 가장 간단한 방법으로, 여러노선배정기법중 가장 우수한 예측결과를 산출하는 기법에 등급순위 "1"을 부여하고 그외는 "0"로 표시하였다. 또한 설정된 평가기준에 의해 차이를 나타내지 않은 경우에는 같은 등위로 나타내었다. 따라서 등위의 합이 가장 크게 나타내는 기법이 가장 정확한 수요예측결과를 산출하는 기법으로 최종평가되었다.

III. 평가기준 및 평가방법의 적용

수요예측결과와 평가기준 및 평가방법이 실제로 도로망에서 산출된 추정교통량에 적용되었다. 4가지의 노선배정기법(STO,ITE,INC,EQU)을 서울시 도로망에 적용한후 산출된 수요예측결과를 앞서 기술한 측정방법 및 기준을 적용하여 평가하였다. 이를 위해 5가지 거시분석과 11가지의 미시분석이 행하여졌으며, 이들 각각의 평가결과를 다시 집계하여 종합평가를 하였다. 수요예측결과를 평가하기 위해 적용된 각 측정방법의 적용과정 및 결과는 다음과 같다.

1. 거시분석방법

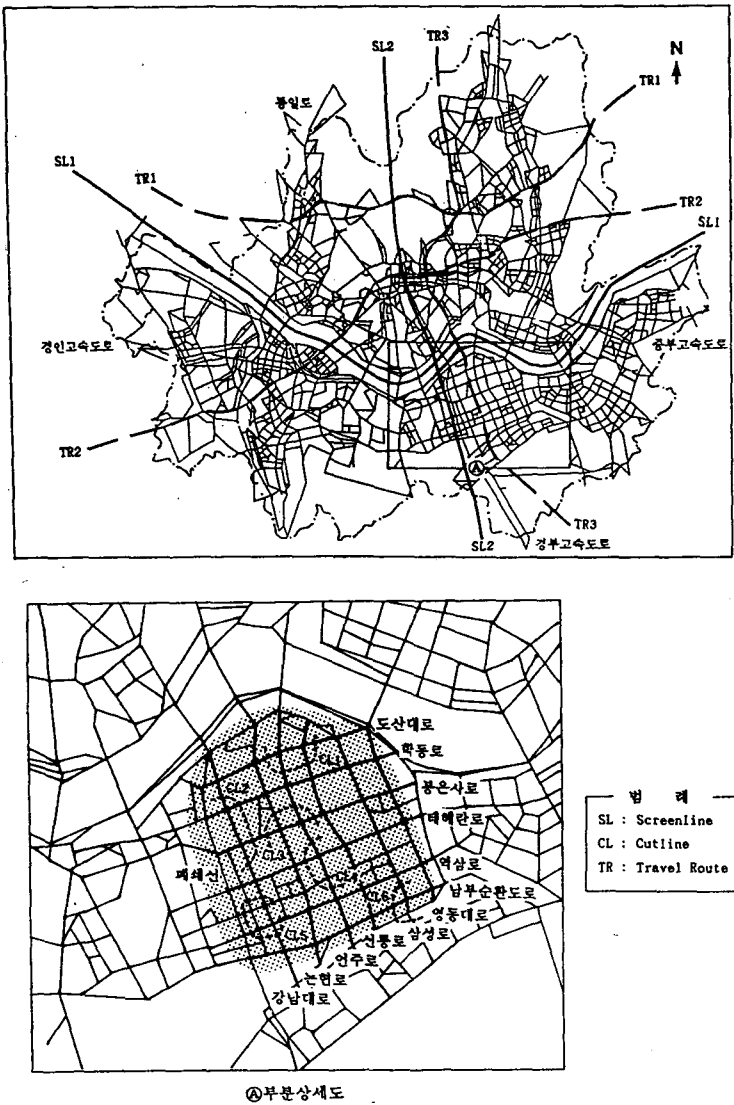
1) Vehice Kilometers of Travel(VKT)측정

실측교통량이 이용가능한 강남지역 링크들에

대해 VKT측정이 행하여졌다. <그림 1>과 같이 강남지역에 폐쇄선(Cordon Line)을 작성하여 경계내에 포함되는 모든 보조간선기능이상의 도로들을 동서 및 남북방향으로 구분하여 각 도로의 VKT를 계산하였다. 계산된 추정교통량의 VKT와 실측교통량의 VKT차이를 평균백분율로 나타내고 이들 차이에 대한 표준편차를 계산하였다. 따라서

수요예측결과와 평균백분율오차와 표준편차가 작고  $\pm 5\%$ 이상의 오차를 나타내는 노선의 수가 작게 나타날수록 더욱 우수한 노선 배정기법이라 할수 있다. 여기서 평균백분율오차의 양과 음의 값은 각각 과대 및 과소로 추정된 교통량값을 나타낸다. <도표 2>는 VKT측정결과를 나타내며 <그림 2>는 이를 그래프로 나타낸 것이다.

<그림 1> 분석대상 서울시도로망도



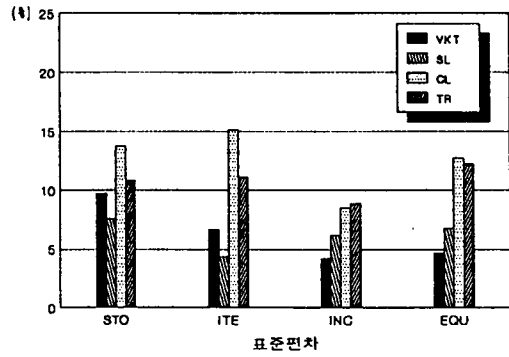
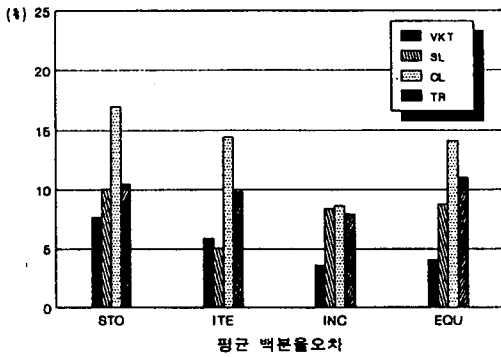


<도표 2> Vehicle Kilometers of Travel (VKT) 측정결과

코드구분	링크수	실측교통량				
		VKT (대·km)	STO	ITE	INC	EQU
도 산 대 로	6	9593	24.10	5.32	2.58	2.66
동 학 동 로	7	5629	-11.32	-3.60	0.21	-4.76
서 봉 은 사 로	9	6081	8.84	13.66	7.04	7.10
방 테 헤 란 로	8	21055	-2.29	-1.02	-1.27	-1.09
향 역 삼 로	9	6942	-2.10	-4.45	2.28	2.53
남 부 순 화 로	8	58691	3.52	7.94	-1.49	-1.72
강 남 대 로	8	29931	-10.38	-8.80	-5.39	-8.43
남 논 현 로	10	7748	-3.12	-6.72	-2.37	-0.92
북 연 주 로	9	9552	-2.16	-3.45	-3.60	-3.96
방 선 릉 로	10	8536	-8.66	2.53	2.61	-3.88
향 삼 성 로	10	11224	10.82	8.08	9.44	7.07
영 동 대 로	9	20716	5.37	5.48	4.92	4.46
평균 백분오차			7.72	5.92	3.60	4.05
표준편차			9.74	6.64	4.23	4.68
±5% 이상 오차노선수			7	5	3	3

<도표 2>에 나타난 바와 같이 STO기법이 모든 기준에서 가장 큰 오차를 보이고 있어 가장 떨어진 수요예측결과를 산출한 것으로 나타났으며, 그의 기법들은 유사한 수준을 보이고 있다. 그중 EQU기법과 INC기법이 평균백분오차에서 5%이내의 오차와 비교적 작은 표준편차, ±5% 이상 오차를 나타내는 노선수가 가장 적게 나타났다. 따라서 VKT측정에서 이들 기법이 가장 정확한 수요예측결과를 산출하는 기법으로 선정되었다.

(그림 2) 평균백분율오차 및 표준편차 비교



2) Screenline(SL)측정

SL측정을 위해 <그림 1>과 같이 2개의 검사선을 서울시 도로망에 그려졌다. 동서방향검사선은 한강을 따라 작성된 선이며 남북방향은 서울의 강남지역과 도심을 따라 그려진 선이다. 동서방향 검사선에 대한 17개 한강교량의 실측교통량 자료는 이용가능하였으나 남북방향검사선에 대한 자료는 부분적으로만 이용가능해 보간법으

로 실측교통량을 보충하였다. SL측정을 위해 각 검사선에 교차하는 링크들의 추정교통량을 방향별로 구분하여 실측교통량과 비교하였다. 이 측정도 VKT측정과 같이 평균백분율오차와 표준편차비교로 평가되었으며, 평균백분율오차가 ±10%이내를 나타내는 경우에 신뢰할 수 있는 수요예측결과라 간주하였다. SL측정결과는 <도표 3>과 <그림 2>에 나타나 있다.

<도표 3> Screenline (SL) 분석결과

SL		링크 수	방향별 실측교통량	STO	ITE	INC	EQU
SL1	동→서	16	852440	-3.96	-1.71	-4.38	-2.94
	서→동	16	760880	7.89	2.68	8.39	5.49
SL2	남→북	27	780690	12.81	5.43	9.18	14.52
	북→남	27	818810	16.10	10.30	11.66	12.24
평균 백분율오차				10.19	5.03	8.40	8.80
표준편차				7.61	4.36	6.23	6.79
±10% 이상 오차 검사선수				2	1	1	2

<도표 3>에 나타난 바와 같이 SL2는 모든 기법이 비교적 큰 오차를 나타내고 있다. 이는 실측교통량 자료의 정확성이 부족함에 따른 문제라 생각된다. 또한 적용대상기법중 STO기법과 EQU기법이 비교적 큰 백분오차와 표준편차, 그리고 2개의 검사선에서  $\pm 10\%$  이상의 오차를 보이고 있어 타기법에 비해 떨어진 수요예측결과를 보이고 있음을 알수 있다. 반면에 ITE기법이 가장 낮은 백분오차와 표준편차를 각 검사선마다 나타내고 있으며  $\pm 10\%$  이상 오차를 나타내는 검사선을 가장 적게 보이고 있다. 따라서 SL측정에서는 ITE기법이 가장 우수한 예측결과를 도출하는 기법으

로 선정되었다.

### 3) Cutline(CL)측정

CL측정을 위해 서울시 도로망에 <그림 1>과 같이 6개의 검사선이 그어졌다. 이들은 실측 교통량이 이용가능한 강남지역으로 한정하였으며, 이들을 교차하는 링크들의 실측교통량은 75,900vpd에서 259,140vpd에 이른다. CL측정 역시 평균백분오차와 표준편차 비교로 평가되었으며, 백분오차가 20%이내인 경우 신뢰할수 있는 수요예측결과라 간주하였다. <도표 4>와 <그림 2>는 CL측정결과를 나타낸다.

<도표 4> Cutline (CL) 측정결과

CL	링 크 수	실측교통량	STO	ITE	INC	EQU
CL1	4	129030	26.78	5.88	6.20	17.94
CL2	4	259140	25.64	9.93	9.02	10.84
CL3	4	75900	-4.97	-8.64	-9.45	-3.72
CL4	4	98960	16.42	22.17	14.83	26.23
CL5	6	187770	-6.42	-20.57	-6.34	-11.04
CL6	4	154110	21.82	19.42	6.21	14.98
평균 백분절대오차			17.01	14.44	8.68	14.13
표준편차			13.78	15.09	8.54	12.77
$\pm 20\%$ 이상 오차 검사선수			4	3	0	2

<도표 4>에 나타난 바와 같이 모든 검사선에 서 비교적 큰 오차를 보이고 있다. INC기법을 제외한 모든 기법에서 약 15%의 높은 백분오차와 표준편차를 유사한 수준으로 보이고 있다. 또한 CL3과 CL5는 모든 기법에서 추정교통량이 실측 교통량보다 낮게 산출되고 있음을 알수 있다. 이 중 INC기법이 모든 CL검사선에서 20%이내의 백분오차와 비교적 낮은 평균백분오차 및 표준편차를 나타내고 있다. 따라서 이측정에서는 INC기법이 가장 우수한 수요예측결과를 산출하는 기법으로 선정되었다.

### 4) Travel Route(TR)측정

TR측정을 위해 <그림 1>과 같이 3개의 노선축이 선정되었다. 이들 축에 포함되는 링크수는 33개에서 61개에 이르며 방향별로 실제 측정된 교통량은 595,820vpd에서 1519,490vpd에 이른다. TR측정도 다른 거시측정과 같이 평균백분오차와 표준편차비교를 통해 수요예측결과를 평가하였다. 이 측정도 SL측정과 비슷한 성격을 가지므로 평균백분오차가 10%이내를 나타내는 경우 양호한 수요예측결과라 간주하였다. <도표 5>와 <그림 2>는 TR분석결과를 요약한 것이다.

<도표 5> Travel Route (TR) 측정결과

TR		링 크 수	방향별 실측교통량	STO	ITE	INC	EQU
TR1	수색→태능	33	620970	9.57	6.04	5.18	10.49
	태능→수색	33	595820	12.56	12.74	11.87	15.47
TR2	광명→면목	61	1519490	-13.46	-18.81	-15.01	-20.04
	면목→광명	61	1432670	-6.27	-4.14	-7.24	-8.87
TR3	내곡→우이	46	1033970	-6.73	-4.89	-4.78	-8.51
	우이→내곡	46	919750	14.36	12.44	3.90	2.77
평균 백분오차				10.49	9.84	8.00	11.03
표준편차				10.84	11.15	8.92	12.23
±10% 이상 오차 노선수				2	3	2	3

<도표 5>에 나타난 바와 같이 모든 노선측의 오차가 비교적 크게 나타났다. 이는 실측교통량의 정확성 부족함에 따른 문제라 생각된다. 모든 기법이 비슷한 수준의 정확성을 나타내고 있으나 그중 STO기법이 가장 떨어진 결과를 보이고 있다. 분석 대상기법중 INC기법이 가장 작은 오차를 나타내고 있어 TR측정에서는 이기법이 가장 우수한 기법으로 선정되었다.

5) 회전교통측정

회전교통측정을 위해 각 적용기법에 의해 산출된 수요예측결과에서 회전교통량이 '0'로 나타나는 좌·우회전 이동(Movement)의 수를 세었다. 서울시와 같이 규모가 큰 도로망에서 회전이 허용되는 교차로의 경우 회전 교통량이 '0'로 나타나는 이동수가 많을수록 수요예측결과의 신뢰도는 떨어진다고 할 수 있다. 회전교통측정결과를 정리한 <도표 5>에 나타난 바와 같이, EQU기법이 가장 작은 '0' 회전 교통의 이동수를 나타내어 이분석에서 가장 우수한 기법으로 선정되었다.

<도표 6> '0' 회전교통량 산정결과

이 동	STO	ITE	INC	EQU
좌 회 전	76	52	43	29
우 회 전	46	41	28	19
계	122	93	71	48

2. 미시분석방법

1) 오차분포 측정

오차분포 측정은 오차범위에 따른 추정교통량의 오차분포형태를 분석하여 수요예측결과를 평가하는 방법이다. 이 측정을 위해 실측교통량이 이용가능한 링크나 보간법에 의해 교통량이 추정

된 링크들에 대해 분석 되었으며, 이들 링크수는 278개로 집계되었다. 이들 링크들에 대해 추정된 교통량과 실측교통량의 차이를 절대교통량 오차 범위( 1000, 3000, 5000, 7000 그리고, 9000vpd이상)와 백분교통량 오차범위(10, 20, 30, 50, 70 그리고, 90%)로 구분하여 각 오차범위에 포함되는 링크의 수를 백분율로 나타내어 도표화 하였다. 이 측정에서는 작은 오차범위를

나타내는 중심부에서 그래프가 높을수록, 작은 분산형태를 나타낼수록, 그리고 큰 오차를 나타내는

가장자리에서 그래프 높이가 낮을수록 더욱 정확한 수요예측결과를 나타낸다 할수 있다.

<도표 7> 교통량오차범위와 백분율 오차범위에 따른 링크교통량 분포분석결과

절대교통량 오차 (%)											
음부호(단위 1,000pcu)						양부호(단위 1,000pcu)					
기법	>9	>7	>5	>3	>1	>-1	>1	>3	>5	>7	>9
	≤9	≤7	≤5	≤3	≤3	<1	≤3	≤5	≤7	≤9	>9
STO	4.0	2.9	4.0	4.4	10.6	31.8	18.6	11.2	5.6	3.4	3.6
ITE	2.6	1.5	4.8	7.3	13.8	38.0	13.1	7.0	5.0	1.7	5.3
INC	1.7	1.8	3.9	7.4	13.9	42.9	12.0	5.7	4.3	1.4	5.1
EQU	2.0	2.0	4.5	6.0	12.5	39.1	17.4	7.0	4.5	2.0	3.2

백분율 교통량 오차(%)											
음부호						양부호					
기법	>90	>70	>50	>30	>10	>-10	>10	>30	>50	>70	>90
	≤90	≤70	≤50	≤30	≤30	<10	≤30	≤30	≤50	≤90	>90
STO	0.1	1.0	2.3	6.5	16.5	27.8	18.5	7.9	6.0	3.5	10.1
ITE	0.3	2.3	5.7	8.3	19.4	31.8	16.4	5.5	3.6	1.8	5.2
INC	0.5	1.7	3.8	8.2	18.0	35.9	17.3	6.6	3.4	1.4	3.3
EQU	0.4	1.2	2.8	6.6	17.7	34.0	17.0	7.5	4.8	1.4	6.7

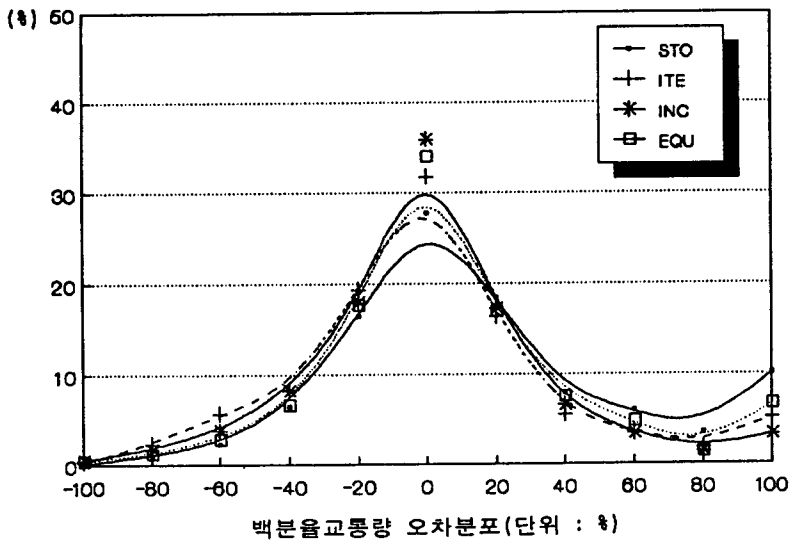
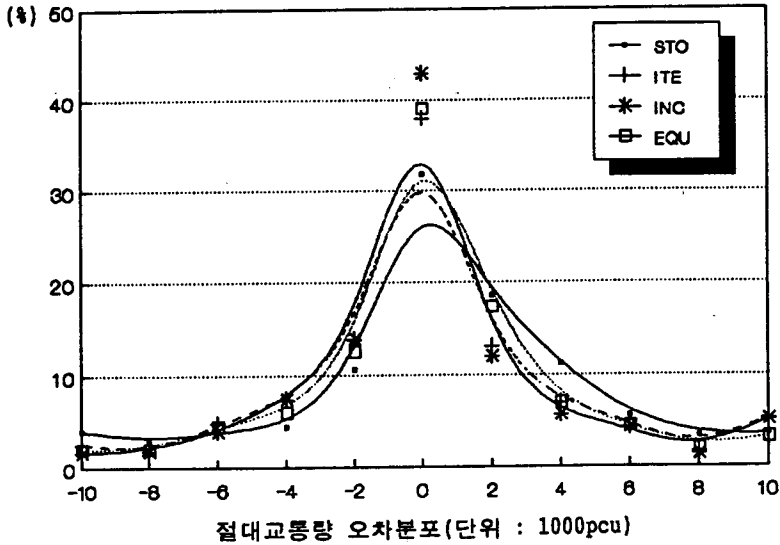
<도표 7>과 <그림 3>에 나타난 바와 같이 대부분의 링크들은 3000vpd이하의 절대오차와 20%이하의 백분율오차범위에 포함되어 있으며, 적용기법들은 거의 비슷한 오차분포형태를 보이고 있다. 그중에서 INC기법이 절대오차와 백분율오차 모두에서 가장 높은 그래프정점과 작은 분산형태, 그리고 가장자리 부근에서 가장 낮은 그래프높이를 나타내고 있음을 알수 있다. 따라서 오차분포 측정에서는 INC기법이 가장 우수한 예측결과를 도출하는 기법으로 선정되었다.

2) 실측교통량오차에 따른 분석

실측교통량 오차에 따른 오차한계측정은 실측 교통량자료가 이용가능한 서울시 도로망의 278개 링크를 이용하여 분석되었다. 이를 위해 각 링

크에 실측된 교통량과 추정된 교통량의 상위 및 하위신뢰한계를 계산하여 비교하였다. 앞서 설정한 평가 기준에 따라 추정교통량의 상위 신뢰한계가 실측교통량의 하위신뢰한계보다 크거나, 추정교통량의 하위 신뢰한계가 실측교통량의 상위 신뢰한계보다 작을 경우 추정교통량과 실측교통량사이에는 차이가 없다고 간주하였다. 따라서 이러한 범위에 속하는 링크의 수가 많이 나타나는 기법일수록 더욱 우수한 수요예측결과를 나타낸다 할수 있다. 분석결과를 나타낸 <도표 8>에서와 같이 EQU기법이 추정교통량과 실측교통량이 같게 나타나는 링크의 수가 가장 많았다. 따라서 오차한계측정에서는 EQU기법이 가장 우수한 수요예측결과를 산출하는 기법으로 선정되었다.

<그림 3> 절대교통량오차 및 백분율교통량오차 분포



<도표 8> 실측교통량 오차에 따른 분석결과

기 법	STO	ITE	INC	EQU
링 크 수	115	140	159	192

3) 통계측정

다섯종류의 통계측정, 즉 평균값 차이(MD), 평균제곱근(RMS), 표준편차(SD), 백분평균제곱근(PRMS), 그리고 백분표준편차(PSD)측정이 수행되었다. 오차분포측정에서와 같이 실측교통량자

료가 이용가능한 278개 링크를 대상으로 통계측정이 행하여졌다. 통계측정 결과는 <도표 9>에 나타나 있으며, 통계측정값은 오차의 크기를 나타내므로 계산된 값이 작을수록 더욱 우수한 수요예측결과를 나타낸다 할 수 있다.

<도표 9> 통계측정 결과

기 법	MD	RMS	SD	PRMS	PSD
STO	1853	14886	14804	32.68	32.56
ITE	1538	13784	13702	31.45	31.29
INC	1094	11348	11308	26.14	26.04
EQU	972	11507	11422	26.50	26.41

<도표 9>에 보인바와 같이 STO기법이 타기법에 비해 가장 큰 오차를 나타내고 있어 가장 떨어진 수요예측결과를 산출하였다 할 수 있다. 또한 INC기법과 EQU기법은 비슷한 오차값을 가지면서 타기법보다 우수한 결과를 나타내고 있어 통계오차분석으로는 이들 기법이 우수한 수요예측결과를 산출하는 기법으로 선정되었다.

노선배정기법에서 산출된 추정교통량 사이에는 통계적으로 유의할만한 차이가 있다는 결론이 내려졌다.

WSR검증은 KW검증과 달리 추정교통량과 실측교통량 사이의 차이가 통계적으로 유의한지를 검증하기 위해 적용되었다. 검증결과가 정리된 <도표 10>에 나타난 바와 같이 STO기법과 ITE기법에 대해서는 영가설이 기각되었고 INC기법과 EQU기법은 받아들여졌다. 따라서 INC기법과 EQU기법에 의한 추정교통량이 실측교통량과 통계적으로 차이가 없다는 결론이 내려졌으며 이들 기법이 이검정에서 보다 정확한 수요예측결과를 도출하는 기법으로 선정되었다.

4) 통계검증

4가지의 통계검증(KW, WSR, Paired t, F검증)이 추정교통량 사이에 그리고 추정교통량과 실측교통량 사이의 차이가 통계적으로 유의한지 검증하기 위해 적용되었다. 통계검증은 강남지역 188개 링크를 대상으로 시행되었으며, 모든 분석은 10%의 유의수준(Significance Level)에서 행하여졌다.

Paired t-검증 역시 추정교통량과 실측교통량 차이를 통계적으로 분석하기 위해 적용되었다. <도표 10>에 나타난 바와 같이, 각 기법에서 산출된 추정교통량은 실측교통량과 통계적으로 차이가 없는것으로 나타났다. 따라서 이 검정에서는 모든 기법들이 유사한 수준의 정확성을 가진 수요예측결과를 산출한 것으로 나타나 어느 기법도 우수한 기법으로 선정되지 않았다.

KW검증은 각 노선배정기법에서 추정된 각 링크교통량사이의 차이가 통계적으로 유의한지 판단하기 위해 적용되었다. 이 검증을 위해 계산된 등급의 합, 검증 통계값, 그리고 임계값등을 <도표 10>에 정리하였다. <도표 10>에 나타난 바와 같이 계산된 통계값이 임계값보다 크므로 영가설이 기각 되었다. 따라서 KW검증결과는 각

Fisher의 F-검증 역시 추정교통량과 실측 교통량차이를 통계적으로 분석하기 위해 시행되었

다. F-검증 결과를 나타낸 <도표 10>에서와 같이 STO기법을 제외한 모든 기법에서 영가설이 받아들여졌다. 따라서 ITE기법, INC기법 및

EQU기법은 실측교통량과 통계적으로 유의할만한 차이가 없는 교통량을 산출하는 기법으로 나타났으며 이들 기법이 F-검증에서 선정되었다.

<도표 10> 통계검증결과

KW검증결과

기 법	등급의 합( $T_i$ )	검증통계값		결 정
		계산값	임계값	
STO	79227	10.87	6.26	H <sub>0</sub> 기각
ITE	68613			
INC	68247			
EQU	67041			

WSR 검증결과

기 법	등급의 합( $T^+/T^-$ )	검증통계값		결 정
		계산값	임계값	
STO	(-6154)/(11612)	3.65	1.65	H <sub>0</sub> 기각
ITE	(-10703)/(7063)	2.44	1.65	H <sub>0</sub> 기각
INC	(-10044)/(7722)	1.55	1.65	H <sub>0</sub> 승락
EQU	(-8334)/(9432)	0.74	1.65	H <sub>0</sub> 승락

Paired t- 검증결과

기 법	평균차이	표준편차	검증통계값		결 정
			계산값	임계값	
STO	2160	19605	1.51	1.65	H <sub>0</sub> 승락
ITE	1810	16933	1.47	1.65	H <sub>0</sub> 승락
INC	1170	17912	0.90	1.65	H <sub>0</sub> 승락
EQU	1080	16517	0.90	1.65	H <sub>0</sub> 승락

F- 검증결과

기 법	평균차이	표준편차	검증통계값		결 정
			계산값	임계값	
STO	34380	24996	0.57	0.77, 1.30	H <sub>0</sub> 기각
ITE	33670	20376	0.86	0.77, 1.30	H <sub>0</sub> 승락
INC	29290	19947	0.91	0.77, 1.30	H <sub>0</sub> 승락
EQU	31340	18302	1.00	0.77, 1.30	H <sub>0</sub> 승락
실측교통량	30270	18994			

모든 통계검증은 10%의 유의수준에서 행하여짐



### 3. 종합평가

거시 및 미시분석에서 도출된 평가결과를 하나의 도표에 집계하여 종합적으로 평가하였다. 각 측정방법별로 적용기법의 정확도를 순위로 나타내고 이를 집계하여 최종평가를 내렸다. 순위의 표현은 앞서 기술한 방법을 적용하였으며, 설정된

평가기준에 의해 차이를 나타내지 않는 경우에는 모든 기법에 등급을 "1"로 표시하였다. 각 측정방법에 의한 평가결과는 <도표 11>에 나타나 있으며, 여기서 순위의 합이 가장 크게 나타나는 기법이 가장 정확한 수요예측결과를 도출하는 기법으로 종합평가되었다.

<도표 11> 종합평가

분 석		STO	ITE	INC	EQU
거시분석	VMT	0	0	1	1
	SL	0	1	0	0
	CL	0	0	1	0
	TR	0	0	1	0
	회전교통측정	0	0	0	1
계		0	1	3	2
미시분석	오차분포측정	0	0	1	0
	오차한계측정	0	0	0	1
	통계측정	0	0	1	0
	WSR	0	0	1	1
	Paired t	1	1	1	1
	F	0	1	1	1
계		1	2	5	4
합 계		1	3	8	6

<도표 11>에 나타난 바와 같이 타기법보다 INC기법이 가장 높은 등급순위의 합을 보이고 있다. 또한 EQU기법은 INC기법과 비슷한 수준으로 ITE기법이나 STO기법보다 높은 순위의 합을 가지고 있다. 가장 낮은 순위의 합을 가진 것은 STO기법으로 평가대상기법중 가장 떨어진 수요예측결과를 산출한 것으로 나타났다. 또한 각 측정 및 검증방법마다 일치된 결과를 보이고 있지는 않으나 타기법보다 INC기법과 EQU기법이 높은 순위를 자주 나타내고 있다. 이는 각 측정 및 검증결과가 대체로 큰 차이를 보이지 않고 비교적 일치된 결과를 나타내고 있음을 반영한다. 적

용대상 노선배정 기법들의 수요예측능력을 평가한 결과 INC기법이 가장 높은 순위를 나타내고 있어, 서울시 도로망의 경우 타기법보다 INC기법이 가장 정확한 수요예측결과를 산출하였다 결론 지을수 있었다.

### IV. 결론 및 제언

교통수요예측결과를 체계적으로 평가할 수 있는 방법을 정립하기 위해 시작된 본 연구는 연구수행과정에서 적지 않은 어려움이 있었다. 우선 참고가 될 수 있는 유사관련자료를 찾기 힘들어

기본접근방법에 어려움이 있었다. 또한 평가기준이 되는 서울시 도로망에 대한 실측교통량 자료를 수집하는데 한계가 있었으며, 실측교통량 보충을 위한 보간법의 적용은 교통량자료의 정확성에 대한 신뢰도 문제를 제기하였다.

본 연구의 결과는 서울시 도로망의 경우 Incremental 노선배정기법이 가장 정확한 수요예측결과를 산출한 것으로 평가되었다. 그러나 일반적으로 서울시와 같이 교통체증이 심한 도로망의 경우 Equilibrium기법이 가장 우수한 결과를 산출하는 것으로 알려져 있어, 예상과 다른 평가결과가 도출되었다. 이는 평가기준이 되는 실측교통량자료의 정확도나 입력자료인 O/D자료, 그리고 도로망코딩자료 등 수요예측결과에 영향을 미치는 여러요인에 의해 예상과 다소 다른 평가결과가 도출되었다 판단된다.

본 연구는 수요예측결과를 보다 합리적으로 평가할 수 있는 방법을 정립하기 위해 수행되었으나 앞으로 더욱 개발되어야 할 연구분야를 남기고 있다. 연구과정에서 설정된 평가기준, 평가절차, 통계유의수준적용, 종합평가방법등은 보다 이론적인 바탕에서 구체화되어야 할 앞으로의 숙제로 남아 있다. 특히, 종합평가방법은 본 연구를 위해 잠정적으로 설정한 방법으로 평가방법에 따라 다른 결과가 도출될 수도 있으므로 이 분야는 앞으로 해결해야 할 더욱 중요한 과제라 할 수 있다.

끝으로, 본 연구는 연구결론보다 연구과정에 더 큰 의미를 두고 싶으며, 앞으로 보다 합리적이고 체계적인 수요예측결과와 평가방법을 개발하는 과정에서의 참고자료가 될 수 있기를 기대해 본다.

### < 참고 문헌 >

1. 유완, 이건영, "교통정책론", 일조각, 1990
2. 임강원, "도시교통계획", 서울대학교출판부, 1986
3. 국토개발연구원, "서울시 지하도로건설 타당성 조사", 1992
4. Chung, C.S. "Improved Traffic Assignment process for Project-Level Analysis.", Ph.D Dissertation, Texas A&M University, College Station, Texas, 1990
5. Federal Highway Administration, "Urban Transportation Planning Program Documentation.", Washington, DC: United States Department of Transportation, 1988
6. Nie, n.d. "SPSS: Statistical Package for the social Sciences.", New York, NY: McGraw Hill Book Company, Inc, 1975
7. Judge, E.J. "Tests of Assignment Accuracy: An Interurban Case Study." Transportation(3), 1990, pp.25-44
8. Siegel, S. "Non Parametric Statistics.", New York. NY: McGraw-Hill Book Company, Inc, 1956
9. Lucas, c,m and Davidson, K.B. "A Method for Measuring the Effectiveness of a Given Assignment Method and an Application to Three Different Methods." Australian Road Research Vol. 5, No. 5, June 1989, pp.92-99.